

无线局域网 MAC 层 QoS 机制综述^{*})

王 骅 王 新 薛向阳

(复旦大学计算机科学与工程系 上海 200433)

摘 要 无线局域网 WLAN 已成为当下日益流行的无线接入方案,但现有的 WLAN 协议对 QoS 的支持极其有限,致使多媒体、实时交互等 QoS 需求高的应用的实施难以实现。无线局域网 MAC 层是控制和协调无线节点访问网络介质的关键协议子层。如何在有限的网络资源和不稳定的物理介质前提下在 MAC 层提供有效 QoS 服务,成了无线网络研究界的一个新的课题。本文分析并总结了当前在无线局域网提供 QoS 的技术难点和主要的 QoS 提供策略,对现存的 QoS 提供机制从两个角度进行了分类和概括,最后指明了 MAC 层 QoS 研究的发展方向。

关键词 无线通信网,无线局域网,服务质量,介质访问控制,802.11,802.11e,移动自组网,优先级调度,公平调度,分布式公平调度,分布式优先级调度

A Survey of WLAN QoS MAC Schemes

WANG Hua WANG Xin XUE Xiang-Yang

(Department of Computer Science, Fudan University, Shanghai 200433)

Abstract WLAN has become an increasingly important network access solution so far. But its limited support for QoS has prevented its wide deployment in QoS-demand applications such as multimedia and interactive applications. The MAC sub-layer is a critical protocol layer for WLAN, which controls and coordinates how wireless nodes access network media. Thus, what we can do to provide effective QoS support at MAC layer is an important research issue. In the light of recent QoS research on WLAN at MAC layer, this paper summarizes the difficulties and principles of QoS provisioning for WLAN. Taxonomy of the existing QoS schemes is given which guides the analysis of various QoS protocols and mechanisms. Finally, this paper pointed out the research trend of QoS MAC schemes for WLAN.

Keywords WLAN, QoS, MAC, IEEE802.11, Ad hoc, Wireless media access, Priority scheduling, Fair scheduling, Distributed priority scheduling, Distributed fair scheduling

1 引言

无线移动网络正在全球通信网中扮演着日益重要的角色,特别是无线局域网(WLAN)作为最后 1 公里的无线接入技术方兴未艾,其高速发展和普遍应用使得人们越来越关注其相关协议的设计和性能的分析。与此同时,多媒体网络服务的出现对网络设施、网络协议特别是网络服务质量 QoS 提出了更高的要求。现有的 WLAN 对 QoS 的有限支持延缓了新的网络应用在无线领域的实施和发展。

由 IEEE 组织制定的 802.11 标准体系^[4]是当前最为广泛使用的 WLAN 技术,但是就 802.11 协议本身来说并不直接对 QoS 具有支持,这已经成为 802.11 网络不能被 QoS 要求高的多媒体无线应用(如 VOIP, DTV)所接受的主要原因。因此,一批新近的研究围绕无线局域网的 QoS 问题提出了不同的解决方案,其中包括尚在草稿审议阶段的 IEEE802.11e^[5]。本文将对这些研究方案中具有代表性的几个方案做针对性的概述,同时分析 WLAN 中的 QoS 问题。

2 MAC 层在无线 QoS 中的作用

无线介质和有线介质传输的固有特性决定了这两类网络

在提供 QoS 时必须对所关注的协议层各有所侧重。在有线介质的网络中, QoS 提供往往更关注网络层和传输层,但 WLAN 作为一种典型的共享信道网络,对其实现 QoS 支持更需要来自于 MAC 层的支持。这里的原因具体可以通过归纳有线网络和 WLAN 的媒质访问的区别来进行解释。

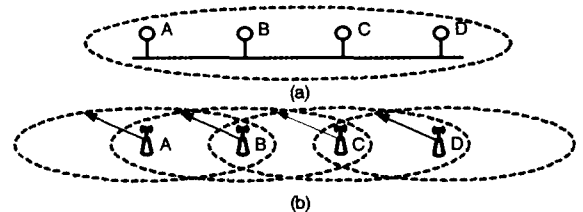


图 1 无线网络中的位置相关竞争

WLAN 和传统 LAN 具有不同的竞争模型。在有线网络中,竞争被有效地控制在传播介质上(图 1a),图中任何 2 个节点需要通信时,4 个节点通过介质的连结而自然地成为一个竞争域。而在无线环境中,竞争则是位置相关的^[16,18]。如图 1b 所示,如果 A 与 B 需要进行双向通信,C 由于在 B 的广播范围内而成为竞争域的成员,而 D 仍然是自由的,所以只有 ABC 互相竞争。若 C 和 D 要进行双向通信,竞争域的成员

^{*})本文工作受到八六三计划(2002AA103065)、上海市科技发展基金(03510708)和上海市智能信息处理重点实验室开放基金(HIPL-04-004)共同资助。王 骅 硕士研究生,主要研究方向为无线移动自组网和无线局域网的 QoS;王 新 博士、副教授,主要研究领域为移动计算和无线个人通信;薛向阳 博导、教授,主要研究领域为多媒体计算,图像与视频编码,信息论与信息处理。

员将是 BCD。而若 B 与 C 进行双向通信,4 个节点都将成为竞争域的一员而互相竞争介质访问权。这种复杂的竞争关系为设计一种有效利用 WLAN 介质资源的协议增加了难度。以上所述的节点竞争关系是一种位置相关(Location Dependent)的竞争。

此外,无线节点对介质当前所处状态具有不确定性。无线网络中节点之间无法相互感知对方的收发状态,由此造成所谓的隐藏终端和暴露终端的问题。在隐藏终端问题里,发送方错误地以为接受方为空闲状态而发送不可能被收到的数据帧。而在暴露终端问题中,发送方错误地以为接受方繁忙而丧失了成功发送数据帧的机会。

正是由于 WLAN 中网络节点的通讯是通过访问共享的无线介质来实现的,通讯的效率其实也就是无线介质访问的效率。因此 WLAN 的 MAC 层在提供 QoS 支持上就显得尤为重要。

3 802.11 协议 QoS 的局限性

802.11 协议是 IEEE 为 WLAN 制定的物理层和 MAC 层访问协议,它为上层协议和应用提供透明的链路层连接服务。在其 MAC 子层的规范中定义了两种访问方式:分布式协调方式(Distributed Coordination Function, DCF)和点协调方式(Point Coordination Function, PCF)。在 PCF 方式下,无线节点通过一个中心控制的 AP 来协调访问介质。在 DCF 模式下(又称 Ad hoc 模式),节点-节点之间直接通过 DCF 的协调来访问介质,而不通过中心的控制。

3.1 DCF 的 QoS 局限性

802.11 的 DCF^[4]作为一种典型的 CSMA 访问机制,其访问可分为 3 步:侦听、竞争、避让。如图 2 所示,当 DCF 侦听到网络空闲长达 DIFS(DCF Interframe Space)后,并非直接发起介质访问,而是在等待一个避让时间(Backoff Time)后向网络发起访问,其中节点通过以下公式来获得避让时间:

$$\text{Backoff Time} = \text{rand}[0, CW] * \text{slottime} (CW_{\min} < CW < CW_{\max})$$

由于避让时间是通过 CW 随机选择的,网络节点的介质访问几率在具有相同 CW 的前提下大致是相同的。如果数据帧发送失败,DCF 认为帧传输发生冲突,因而通过增大 CW 来延长避让的时间,从而避免更多的冲突。DCF 中 CW 的增大算法称为 BEB(Binary Exponential Backoff),即

$$CW_{\text{new}} = CW_{\text{old}} * 2$$

如果数据帧发送成功,CW 将重置为 CW_{\min} 。DCF 中使用 RTS/CTS 的握手协议来避免非竞争原因导致的冲突(隐藏终端导致的冲突)。作为对载波侦听技术的补充,RTS/CTS 协议通过 3 次握手,保证了发送节点和接收节点在数据

帧的传送过程中没有其他节点进行干扰,从而避免了冲突。

可以看到,DCF 的竞争是通过避让实现的,而避让时间又是由 CW 决定的。每一次竞争过程中避让时间最短的节点获得介质访问权,这也是所有基于避让机制的本质。但同时我们看到,DCF 是一种 best-effort 的服务,对于有带宽和时间延迟需求的数据 DCF 不提供 QoS 保证。在 DCF 模式下,所有的节点和数据流通过一个随机的避让算法以相同的概率访问介质。随着网络中节点和数据量的增加,数据帧的冲突概率增加,CW 也随之增加,带来的是数据延迟的增加、吞吐量和网络利用率的下降。



图 2 DCF 访问示意图

3.2 PCF 的 QoS 局限性

PCF 是 802.11 在由 AP 控制的集中访问模式下的介质访问功能。如图 3 所示,在 802.11 中网络节点对介质的访问随时间被分割成无竞争时段(Contention Free Period, CFP)和竞争时段(Contention Period, CP),DCF 和 PCF 这两种访问可以随时间在 AP 控制下在这两个时段相互重叠进行。

与 DCF 不同,PCF 采取一种轮询的方式进行工作,在 CFP 时段中 AP 自身将维护一张需要进行轮询的节点列表,并顺序对表中的节点进行询问,节点由于收到轮询而具有访问介质的机会。一个工作在 PCF 模式下的无线节点,需要发送数据时,先等待来自 AP 的 CF-Poll 帧,然后将数据帧传递给 AP,再由 AP 根据帧内包含的地址中继给目的节点。而在 CP 期间,节点通过有竞争窗口划定的区间通过竞争的方式访问介质。其中 CFP 的开始和中止是由 AP 发送的控制帧(Beacon)来标志的。

可见,在 PCF 模式下,AP 处于网络的中心位置,具有绝对的控制权。虽然在一定程度上有助于 QoS 的实现,但是仍然存在 3 点不足:首先,所有的通讯都需要经过 AP 中继,即使在两个节点可以直接通讯的情况加 AP 仍然需要介入,这样就损失一部分的带宽利用,此外,受到轮询节点的传输时间无法准确控制。一个收到 CF-Poll 帧的节点可以发一个长度在 0-2346 之间的数据帧,从而产生了发送时间的不确定性,这使得 AP 无法准确地为节点保证 QoS 参数。最后,AP 无法获知哪些节点需要发送数据,哪些没有,从而把部分轮询时间不必要地分配给了一些不需要数据发送的节点,浪费了时间。

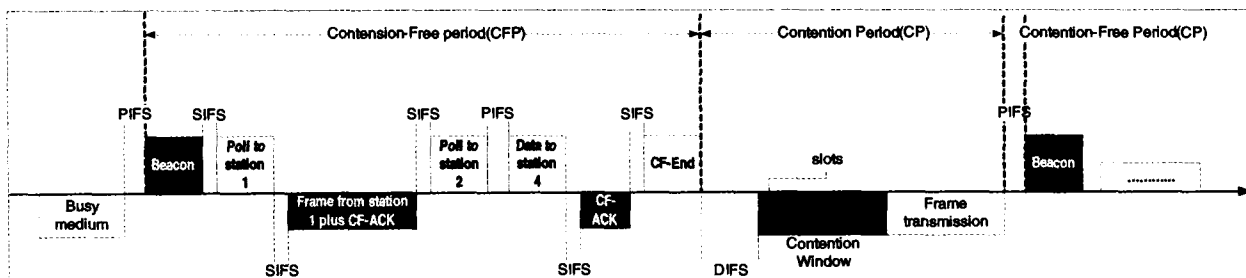


图 3 802.11 PCF 访问方式

以上所述 802.11 协议中 DCF 和 PCF 的不足引出了人们对如何加强 WLAN 网络 QoS 性能的研究。以下就从 QoS 的控制模式入手加以分析。

4 WLAN 的 QoS 控制模式

WLAN 的 QoS 控制模式可以分为集中式(Centralized MAC Mechanism)和分布式(Distributed MAC Mechanism)两种。由于无线节点的自组性和及时性,QoS 对于一种分布式机制存在的要求更为迫切。但是,分布式机制由于本身的限制,将在设计过程中面临更多的挑战。无线网络中,AP 的存在为集中式 QoS 控制模式提供了条件,在应用场合允许的前提下可以利用 AP 来提供 QoS 支持,这些集中式的访问方法大多根源于 802.11 的 PCF 方式。

4.1 基于分布式管理的机制

可以说,无线介质的分布式访问机制都是从有线网络的相应机制中演化而来的,包括 802.11 的 DCF 模式。在最初的 ALOHA^[28] 访问协议中,网络中的节点可以在任何需要的时刻向网络投放数据帧。在其后改进的基于时间片的 ALOHA(Slotted ALOHA)访问机制中,节点只有在时间片的开始才能向网络发送数据,以使网络的吞吐性能得到提升。其后的改进出现了通过载波侦听来检测冲突的介质访问机制 CSMA,使得介质访问效率进一步提高。由于无线介质的固有特性,在 WLAN 中仅仅依靠时间片的限制和冲突检测来提高访问的有效性是不够的。由此,一系列针对无线网络 MAC 访问的研究产生了,相应的研究成果也相继出现,其中比较有影响力的包括 MACAW^[18] 和 FAMA^[22],而代表性的协议标准有 802.11 中的 DCF。以上这些都是 MAC 层分布式 QoS 访问机制的基础。

许多分布式管理机制的协议试图通过改进 DCF 来达到支持 QoS 的目的。如 JDRC^[32] 方案通过修改 DCF 中的两个参数来实现差分服务。它选用了两个帧时隙(Interframe space, IFS)值和两个不同的避让时间值(Backoff time),组成 4 个不同的优先级别。最高优先级的数据使用较短的时隙和较短的避让时间,而低优先级的数据使用长时隙和避让时间。在这种机制下,高优先级的数据总能获得更多机会访问媒质。但是,当网络中没有高优先的数据时,低优先级的数据仍然需要等待长时隙和避让来访问网络,从而一定程度上浪费了网络利用率,增加了低优先级数据的时延。

文^[23]提出的 DFS 是一种同时考虑优先和公平策略的机制。在该机制中,利用了 SCFQ^[20] 的思想。与 DCF 不同的是,DFS 将帧的长度和节点的权重作为参数加入避让时间的计算。在线性的情况下,节点的避让时间可按下式计算:

$$B = \rho \lfloor l / \varphi \rfloor$$

其中 l 是帧长 φ 是权重, ρ 是一个随机数。

通过这个算法,权重大的节点将获得更多的介质访问权,而帧长较小的包将得到优先调度,以保证小流量业务的快速传递。DFS 的设计思想是让那些长度短、权重高的数据包更快得到传送,从而达到公平。除了线性计算公式外,DFS 还引入了其他两个基于指数函数和平方根函数的避让时间计算函数。但是由于算法的复杂性,DFS 的应用较少。

DFS 是一个基于节点的方案,而 DWFQ^[30] 是一个基于流的机制。其设计目的是希望将带宽依权重均匀分布到网络中的各条业务流。为了达到这个要求,DWFQ 为每个节点维护一个网络动态性能指标,同时为每一个流维护不同的 CW。

此外,DWFQ 必须规范节点内部的流竞争。从其仿真结果看,DWFS 是一种较优的机制。但是,显然 DWFQ 比 DFS 更为复杂,MAC 层需要维护许多流量数据,实现开销较大。

同样是考虑差分和优先策略,DDRR^[31] 考虑到兼顾了低优先级数据的饥饿问题。它避免了当网络中同时存在高优先和低优先级数据时低优先级的数据总是得不到发送的情况。DDRR 在将访问优先级转化为时隙的同时采用了赤字量循环调度的算法,这种方式使低优先的数据在多次传送失败后得到较高的介质访问概率,从而使那些即使是优先级较低的业务仍然有访问介质的机会。

与避让机制截然不同,抢先机制的竞争并非基于等待而是基于抢占。BB^[26] 机制就是这样一种通过释放阻塞(Jamming)包来抢占介质的访问机制。在 BB 中,节点释放持续时间不同的阻塞包,由于其能量很大,使得所有节点都能收到,而阻塞包持续时间最长的节点将获介质访问权。设计 BB 机制旨在支持实时业务,但抢先机制的思想拓展了人们的视野。一些研究^[21,25] 希望结合避让和 BB 在 802.11 环境中提供实时业务的支持,取得了一定成果。

EDCF 是来自 IEEE 官方的针对 802.11DCF 访问方式的增强版本,也是 802.11e 的一部分。EDCF 是近来研究的重点,文^[2,5,8,11,15] 不同程度地对其进行了分析和仿真。在 802.11 的 DCF 中没有包含任何优先机制。而在 EDCF 中提供了多达 8 个用户可定义的优先级,这些优先级业务被绑定到 4 个访问级别(Access Category, AC)中进行差分调度。来自上层应用的数据通过用户指定的优先级被指定到相应的 AC 中。

EDCF 为这 4 个 AC 分配了不同的避让和时隙参数(如图 4 和表 1 所示)。其中,我们可以发现 EDCF 在 DCF 已有 4 个时隙的基础上定义了一系列新的时隙 AIFS_[i](Arbitrary Interframe Space),赋予不同的 AC。此外,每一个 AC 避让时间的范围 CW 也不同。由 DCF 的访问规则我们可知,更长的 AIFS 意味着低的访问优先级,更大的避让时间意味着低的访问概率。显然,高优先的访问需要一个较短的 AIFS。EDCF 通过这样的区分方案提供 QoS 区分服务。

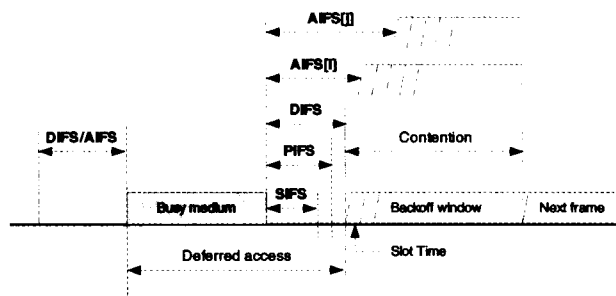


图 4 EDCF 访问示意图

表 1 EDCF 访问参数

AC	CW _{min} [AC]	CW _{max} [AC]	AIFS [AC]
0	CW _{min}	CW _{max}	SIFS + 2 * slottime
1	CW _{min}	CW _{max}	SIFS + n1 * slottime
2	(CW _{min} + 1) / 2 - 1	CW _{min}	SIFS + n2 * slottime
3	(CW _{min} + 1) / 4 - 1	(CW _{min} + 1) / 2 - 1	SIFS + n3 * slottime

人们很快发现,EDCF 中 CW 的维护算法 BEB 并不是最优的,因为在网络负载较高的情况下此算法可能带来吞吐量和时延的不稳定,因而出现了 AEDCF^[7] 和 EDCF-DM^[12] 等不

同的基于EDCF之上的动态避让算法。这些机制希望通过一种动态的CW维护算法来调整由于CW改变而带来的网络性能的不稳定性。PCWA^[10]更试图通过贪心算法使系统在低负载时最大限度地利用带宽。这些研究的仿真结果显示,网络吞吐量和延迟性能能够通过选择一种优化的CW缩放算法得到改善。然而,这些算法依赖于一种能够有效测量网络流量和负载的方法,但这种测量往往带来较多的计算和存储开销。

由于分布式网络易于实施,对应用环境限制小,对于一些特定的应用更有实用价值,近年来越来越多的无线局域网和ad hoc网络研究将重点放在了分布式访问和拓扑机制上。完全分布的介质访问方式为了达到节点间互通状态信息的目的,不得不引入额外的网络流量开销和时间开销。此外,由于不存在一个统一的调配机制,分布式机制往往引入随机访问因素来达到公平,而这种机制无法在一些极端的拓扑环境下保障流的公平。分布式公平性策略的实现仍然是一个亟待解决的问题。

4.2 基于集中(centralized)管理的机制

所谓集中的管理就是在网络节点访问介质时有一个统一调度者。这一角色在WLAN中通常由AP来担任。在802.11的基础构架模式下,网络中移动节点的通讯数据必须通过AP来中继。AP拥有该局域网内所有节点的信息,这为QoS的调度带来了便利。802.11本身对AP没有做出任何QoS调度的规定,但是AP制造商可以设计自己的调度机制。事实上,IEEE的TGe已经在文[28]中提到如何实现一种能够实现QoS调度的机制。

在前文中我们看到单纯802.11的PCF协议通过顺序轮询列表中的节点来让节点访问介质,这种方案可以通过一些改变从而支持QoS。首先文[27]中作者提出了不同轮询算法,包括Round Robin, FIFO,优先级队列等。仿真结果显示,基于FIFO的轮询算法能够提供较高的网络吞吐量,而基于优先队列的轮询能够实时访问数据流,但代价是降低低优先级的数据性能。

另一些算法试图减少不必要的节点轮询。文[36]中提出的动态轮询机制,希望AP的轮询不要浪费在那些没有数据发送的节点上。通过将轮询优先级基于节点的回复量的多少,动态轮询将轮询机会更多地分配给那些不断有数据发送的节点,从而在整体上提高网络利用率。

在受控访问中,EDCF等分布式机制往往不能起作用。多轮询机制的目的就是要结合EDCF的分布式特点和轮询机制的确定访问的特点。多轮询^[37]基本思想是AP或者HC能一次同时轮询多个节点,这些节点同时具有访问介质的权利,并且在轮询信号帧中分配不同的避让时间来确定节点优先级。

最后有必要提一下在802.11e中提出的一个新的调节功能(Hybrid Coordination Function, HCF)。HCF针对802.11中的DCF和PCF进行了融合和增强。确切地说,它并不代表任何访问机制,具体的访问机制是通过其子功能EDCF和HCCA(HCF Controlled Access)体现的。EDCF已经在前文中加以描述,而HCCA本质是一种基于PCF的集中式QoS访问方案。在HCCA中,节点仍然需要AP的轮询(polling)来访问介质,不同的是它引入了更为灵活的调度机制。为了区分不同的QoS服务等级,协议定义了一些新的控制帧,用以描述数据流QoS特性的管理帧。

一个CFP片断由数个TXOP(Transmission Opportunity)组成, TXOP总是由AP来发起,网络节点只有受到AP指派的TXOP才能传送或接受数据。HCCA与PCF的一个不同之处在于:它能够接受来自节点的不同QoS请求,从而计算分配给节点的适当的TXOP长度,在资源缺乏的时候拒绝新的QoS接入。TXOP长度的计算是HCCA的核心部分,节点发送数据帧的时间长度精确地由TXOP决定,从而AP有了对介质的绝对管理能力。与PCF相比, HCCA更为复杂,它容许使用不同的调度算法来计算TXOP,从而实现QoS的保证^[17]。

5 WLAN MAC层的QoS策略

QoS策略的选择有时决定了提供QoS的具体控制模式。一个特定的QoS方案往往先要指出其采用的策略,后才能给出具体的解决手段。不同的QoS策略的选择来自于不同的QoS需求。

区分策略:对于不同的业务根据指定的优先级进行数据的调度称为区分服务。区分策略是最常见的QoS策略, IEEE802.11e中的EDCF访问机制^[8,10,11]就是区分策略的典型代表,其中采用4个不同AC对业务进行区分服务,EDCF为不同优先级的帧通过不同的介质访问参数来实现区分的目的。

优先策略:虽然区分策略提供了一种相对的QoS保障,但是对于交互式实时数据等需要有保障网络服务的业务来说,所需QoS策略必须能够提供绝对QoS保障,也就是不论当前网络中数据业务的数量和网络负载状况,该策略总是能够保证一部分特定优先级业务的QoS请求,当然在不能够保障的情况下拒绝接入请求。基于集中式管理的QoS机制比较容易实现该调度机制^[17,35]。虽然优先策略适应实时业务的需要,但不可避免地在特定情况下会造成其他业务流的饥饿(Starvation)。

公平策略:在区分和优先级的基础上进一步提出公平(Fairness)的概念,来自于人们对不对称网络拓扑下业务公平的研究。在文[32]的定义中指出:分享同一个信道的不同的数据业务所分配到的带宽(信道访问时间)与数据业务所具有的权重成正比,称为数据流的公平。

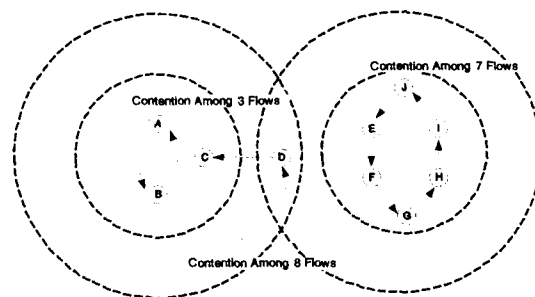


图5 不对称的网络拓扑造成不公平的介质竞争

图5展示了一个简单无线网络中的公平调度问题。图中,内圈表示节点的有效传输范围,外圈表示干扰范围,箭头所指为当前的业务流。从图中我们可知:左圈内的2个流AB,BA和流DC相互竞争,右圈的6个流和流DC相互竞争。图中数据流DC同时处于由节点ABC构成的和由节点EF-GHIJ构成的干扰范围内,这导致数据流DC需要同其余的8个流进行竞争。在这个不对称的拓扑中同时存在两个“竞争

域”：左部的 ABCD 4 个节点形成一个竞争域，右部的 DEF-GHIJ 7 个节点形成另一个竞争域。数据流 DC 由于同时处于两个竞争域中而处于非常不利的传输竞争地位。很容易想象，流 DC 是所有业务流中性能最差的。事实上，在文[16]基于 BEB 避让策略的仿真中，数据流 DC 所获得数据吞吐量极其不稳定。如何采用合理的策略为这些流分配公平的介质访问机会（特别是在一种分布的环境下），就是公平调度所要考虑的问题。

加权的公平优先调度(Weighed Fair Scheduling)：在保证部分业务被优先调度的同时，对于其他业务进行加权的公平调度，是 QoS 策略的又一课题。在该策略下，既能保证实时业务的优先调度，同时将剩余带宽公平地进行分割，是一种比较理想的策略，实现难度也较大，文[36]从调度算法的角度着重讨论了不同调度策略的实现方法和难度。

在图 6 的分类中还显示了 QoS 策略存在基于节点和基于业务流的区分，这涉及到在实现 QoS 机制时我们把实现策略的调度算法应用到哪个层面。针对于节点的策略需要为每一个节点维护调度算法的数据结构，其调度的基本粒度是单个节点，来自同一个节点的业务作为一个整体对待。而针对流的策略则要每一个业务流维护调度算法的数据结构。业务流是调度的基本粒度，这就意味着即使是相同的节点不同流仍然是相互影响的单位。显然，针对流的策略更为复杂。

对于无线局域网的 QoS 机制分类有很多方法^[9,13,19]，但是这些分类手段往往将实现策略和实现手段整合在一起。如文[19]中的分类都采取了单一的分类方法，这种分类方法往往把具体协议作为分类的基础，如 802.11 的 DCF 和 PCF。事实上，对于无线局域网 MAC 层 QoS 保障的研究已经发展了多年，期间出现了基于不同机制的许多协议和方案，一些协议可能无法通过这种方式进行统一分类。所以，本文提出一种独立于某一特定协议的方式对 MAC 层 QoS 机制进行归类(图 6)。

在图 6 的分类中，MAC 层 QoS 机制从横向和纵向上进行了划分，横向上的划分体现 QoS 机制的具体实现手段，而纵向上的划分体现 QoS 机制的实现策略。需要指出的是，实现策略和手段是相互独立的。同一个策略的实现手段可以有多种，相应地一种实现手段也可以体现不同的 QoS 策略。在一个具体的应用框架下，决定 QoS 策略的往往是需求，而决定手段的则是实现资源和成本。

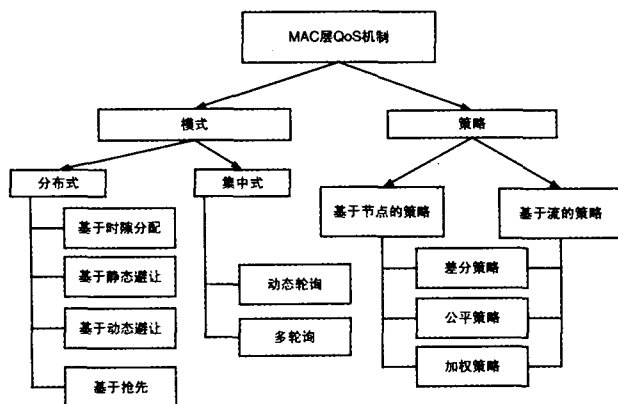


图 6 无线 MAC 层 QoS 机制分类图

6 利用 MAC 层访问机制支持 QoS

在设计 MAC 层访问协议时，我们需要决定合适的 MAC

访问方案，其中涉及到一些参数的选择。不同的 QoS 模式、策略需要不同的访问机制支持。下面就避让机制和时隙两者进行讨论。

6.1 选择避让机制

避让是所有多路访问共享信道网络 MAC 的最基本原理。当节点通过侦听机制侦测到冲突发生时，节点将等待一段随机的时间间隔后重新发送数据帧。由于选取的等待时间不同，而使得冲突不再发生。无线网络中避让不是发生在冲突发生之后，而是发生在每一次竞争中。避让通常通过窗口来进行控制，窗口的大小决定了避让时间的长短。在一系列的 MAC 研究中，人们提出了不同的方案来控制窗口的变化。

竞争窗口维护：在基本的 DCF 中，每一个网络节点维护一个竞争窗口，这符合基于节点公平的思想。文[18]中所作的仿真证明了这一点，即同一个访问域内的节点拥有相同的访问网络的机会。MACAW 则提出了每一个数据流分别维护竞争窗口的思想。也就是说，即使在同一节点内，不同的数据流也存在竞争网络的关系。网络访问的权利是赋予每一条数据流，不是每一个节点。这样的思路更能符合基于流 QoS 公平的思想。

竞争窗口的缩放改变：竞争窗口的缩放一般是基于如下的规则：

当网络繁忙的时候，节点都应该使用较大的竞争窗口；当网络负载较低的时候，较小的窗口更有利于介质使用效率。对于优先级较高的数据流，需要赋予较小的窗口，以保证在多个流的竞争中胜出。竞争窗口的改变要随网络繁忙度尽量平缓地变化，防止较大的窗口抖动(CW oscillation)，因为窗口大小的反复变化容易引起冲突。

6.2 时隙的分配

所谓时隙就是节点在侦测到介质空闲直至开始竞争之间的时间间隔，在无线网络术语中又称为 IFS。时隙往往是控制节点差分访问介质的一个良好方法。不同于直接竞争，对于时隙的分配直接决定了节点访问网络的优先权问题。所以，如果网络中存在实时业务或控制信息的传递，往往通过分配小时隙来保证其优先传递。802.11 中 SIFS, PIFS 和 DIFS 就是一种通过分配时隙来区分不同帧类型优先级别的手段。

在大多数情况下，一个完整的协议(如 802.11)同时采用避让机制和时隙分配机制(见文[7,8]中的几种协议的介绍)。这些协议的基本特点是使用不同的时隙区分业务，同时采用不同程度的动态避让机制来优化网络整体性能。对于 QoS 的提供，一些研究也提出了不同的方案作为以上机制的辅助。这些方案所要解决的问题一是网络繁忙度信息的采集问题，二是对于已有协议开销的改善。

结论和展望 MAC 层提供 QoS 保证机制是在 WLAN 上运行 VOIP 等需要应用 QoS 的必要途径，本文详细分析了其实现难点和主要原理，并从模式和策略两个层面对 MAC 层 QoS 机制做了分述和归类。对于共享媒质访问的无线网络来说，如何有效合理地访问无线介质是该网络传输技术的重点，而如何提供 QoS 机制更是一个难点，近年来的研究已经取得了一些成果。在分析和概括中，我们发现传统的 802.11 网络采用静态的访问参数因而不能有效地提供 QoS 服务。更多对 802.11 的 QoS 改进引入了动态、加权和区分对待的算法，对原有的机制进行补充。本文在概括这些研究成果的同时指出了一些对协议改进和实现有意义的建议性原理和准则。

以个人自组织网络和传感器网络为代表的新一代无线网络应用框架的出现预示着未来无线网络分布式、自主式的发展方向。越来越多的分布式 MAC 访问协议的出现和相应的 QoS 机制为这些应用框架提供了支持。本文对分布式 MAC 访问机制做了重点分析。很多研究证明,即使在完全分布的环境下仍然可以提供差分、优先和公平的访问策略。然而,在一个多跳的自组网络中,如何有效分配网络带宽、保证访问的公平并同时减少网络协议带来的开销,仍然是需要研究的问题。显然,网络性能和协议开销、实现难度的权衡取决于对不同应用场景下对于 QoS 参数和调度算法的取舍。另一方面,提供一个在 WLAN 下可以实施的统一的 QoS 框架,也是亟待解决的问题。QoS 是一个综合的问题,新的 QoS 框架需要能够为不同的应用提供统一的 QoS 接口,并且综合 MAC 层 QoS、网络层 QoS 路由,乃至传输层的 QoS 技术,从而为用户提供端到端的 QoS 支持。

参考文献

- 1 Tanenbaum A S. Computer Networks [M]. 3rd Ed. Prentice Hall, 1997
- 2 Gu D, Zhang Jinyun. QoS enhancement in IEEE 802.11 wireless local area networks [J]. Communications Magazine, IEEE, 2003,41(6):120~124
- 3 Gast M S. 802.11 Wireless Network, The Definitive Guide [M]. O'Reilly, 2002
- 4 IEEE 802.11. 1999 ed. (ISO/IEC 8802-11, 1999). IEEE Standards for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange between Systems - Local and Metropolitan Area Network - Specific Requirements - Part 11, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. [S]
- 5 IEEE 802.11 WG. Draft supplement to STANDARD FOR telecommunications and information exchange between systems-LAN/MAN specific requirements-Part 11, wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications, medium access control (MAC) enhancements for quality of service (QoS), IEEE 802.11e/Draft 4.2, February 2003 [S]
- 6 ETSI Number TS 101 475. Broadband Radio Access Networks (BRAN)HIPERLAN Type 2 Physical (PHY) layer [S]. TS 101 761-1, "Data Link Control (DLC) Layer; Part 1, Basic Data Transport Functions", TS 101 761-1, "Data Link Control (DLC) Layer; Part 2, Radio Link Control (RLC) Sublayer"
- 7 Romdhani L, Ni Qiang. Adaptive EDCF: enhanced service differentiation for IEEE 802.11 wireless ad-hoc networks [C]. Wireless Communications and Networking, 2003,2:1373~1378
- 8 Choi Sunghyun, del J, Shankar P S, et al. IEEE 802.11e Contention-Based Channel (EDCF) Performance Evaluation [C]. In: Proc. IEEE ICC'03, 2003,2:1151~1156
- 9 Pattara-Atikom W, Krishnamurty P. Distributed mechanisms for quality of service in wireless LANs [J]. Wireless Communications, IEEE, 2003, 10(3):26~34
- 10 Wei Xin. Analysis of Quality of Service of Wireless LAN for IEEE 802.11e [D]:[Master thesis]. Computer Science and Communication, Linköping Institute of Technology, 2004-02-09
- 11 Mangold S, Choi Sunghyun, May P, et al. IEEE 802.11e Wireless LAN for Quality of Service [C]. In: Proc. Eur. Wireless'02, vol.1, Feb. 2002, 32~39
- 12 Zhu Hao, Cao Guohong. EDCF-DM, A Novel Enhanced Distributed Coordination Function for Wireless Ad Hoc Networks [C]. Communications. In: 2004 IEEE International Conference on, vol 7, Jun. 2004, 3886~3890
- 13 Zhu Hua, Li Ming, Chlamtac I, et al. A Survey Of Quality Of Service In Ieee 802.11 Networks [J]. IEEE Wireless Communications, 2004,11(4):6~14
- 14 Mohapatra P, Li Jian, Gui Chao. Qos In Mobile Ad Hoc Networks [J]. IEEE Wireless Communications, June 2003, 44~52
- 15 Garg P, Doshi R, Greene R, et al. Using IEEE 802.11e MAC for Qos over Wireless [C]. In: Proc. of the 22nd IEEE International Performance Computing and Communications Conference (IPCCC 2003), April 2003
- 16 Nandagopal T, Kim Tae-Eun. Achieving MAC layer fairness in wireless packet networks [C]. In: Proc. of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, August 2000, 87~98
- 17 Grilo A, Macedo M. A scheduling algorithm for QoS support in IEEE802.11 networks [J]. Wireless Communications, IEEE, 2003,10(3):36~43
- 18 Bharghavan V, Demers A, Shenker S, et al. MACAW, A Media Access Protocol for Wireless LANs [C]. In: ACM SIGCOMM, Aug. 1994, 212~225
- 19 Ni Qiang, Romdhani L, Turetletti T. A Survey of QoS enhancements for IEEE 802.11 wireless LAN [J]. Wireless Communication, 2004,4:547~566
- 20 Golestani S J. A self-clocked fair queueing scheme for broadband applications. In: INFOCOM '94. Networking for Global Communications. 13th Proceedings IEEE, vol 2. 1994, 636~646
- 21 Chen W T, Jian B B, Lo S C. An Adaptive Retransmission Scheme with QoS Support for the IEEE 802.11 MAC Enhancement [C]. Birmingham, Alabama, USA, May 2002
- 22 Garcia-Luna-Aceves J, Fullmer C. Floor Acquisition Multiple Access (FAMA) in Single-Channel Wireless Networks [J]. Mobile Networks and Applications, 1999, 4:157~174
- 23 Vaidya NH, Bahl P, Gupta S. Distributed fair scheduling in a wireless LAN [C]. Boston, USA, August 2000
- 24 Kanodia V, Li Cheng-Zhi. Distributed Priority Scheduling and Medium Access in Ad Hoc Networks [J]. Wireless Networks, 2002,8:455~466
- 25 Sheu J P, Liu C H, Wu S L, et al. A Priority MAC Protocol to Support Real-Time Multimedia Traffic in Ad Hoc Networks [J]. Wireless Networks, 2004, 10(1):61~69
- 26 Sobrinho J L. Quality-of-Service in Ad Hoc Carrier Sense Multiple Access Wireless Networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999,17(8):1353~1368
- 27 Yeh J Y, Chen C. Support of multimedia services with the IEEE 802.11 MAC protocol. In: Proc. of IEEE ICC, May 2002, 600~604
- 28 Prado J, et al. Mandatory TSPEC Parameters and Reference Design of a Simple Scheduler [S]. IEEE 802.11-02/705ar0, Nov 2002
- 29 Tanenbaum A S. 计算机网络(第4版)[M]. 清华大学出版社, 2004
- 30 Kandala S, et al. Normative Text for TGe Consensus Proposal [S]. IEEE 802.11-02/612r0, Sept. 2002
- 31 Banchs A, Perez X. Distributed weighted fair queuing in 802.11 wireless LAN [C]. Communications, 2002, ICC 2002. IEEE International Conference on, vol 5, August 2002, 3121~3127
- 32 Deng J, Chang R S. A priority scheme for IEEE 802.11 DCF access method. IEICE Trans in Com, 1999, 96~102
- 33 Pattara-Atikom W, Banerjee S. Starvation prevention and quality of service in wireless LANs [C]. In: Wireless Personal Multimedia Communications, 2002. The 5th International Symposium on, vol 10, October 2002, 1078~1082
- 34 Dugar A, Vaidya N. Priority and Fair Scheduling in a Wireless LAN [C]. In: Military Communications Conference, 2001. MILCOM 2001, vol 2, October 2001, 993~997
- 35 Chou Chun-Ting, Shin K G. Inter-frame space (IFS) based service differentiation for IEEE 802.11 wireless LANs [C]. In: Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Fall, 2003 IEEE 58th, vol 3, October 2003, 1412~1416
- 36 Dong X, Varaiya P, Puri A. An Adaptive Polling Algorithm for PCF Mode of 802.11 Wireless LANs [EB/OL]. 2003. http://www-inst.eecs.berkeley.edu/~ee228a/228A03/WLANandSensor-Readings.htm
- 37 Lo S C, Lee G, Chen W T. An Efficient Multipolling Mechanism for IEEE 802.11 Wireless LANs [J]. IEEE Transactions on Computers, Special Issue on Wireless, 2003,52(6):764~778
- 38 Fattah H, Leung C. An overview of scheduling algorithms in wireless multimedia networks [J]. Wireless Communications, IEEE, 2002,9(5):76~83